

Correlação de Spearman aplicada ao estudo de adaptabilidade e estabilidade em genótipos de alfafa

Spearman correlation coefficient applied to the study of adaptability and stability in alfalfa genotypes

Moysés Nascimento¹, Gilson S. da Rocha¹, Danielle S. Pinto², Laís Mayara Azevedo Barroso^{1*}, Ana Carolina C. Nascimento¹, Reinaldo de P. Ferreira³ e Fabyano F. e Silva¹

¹ Universidade Federal de Viçosa (UFV). Departamento de Estatística, Av. P.H. Rolfs, s/n, 36570-000, Viçosa, Minas Gerais, Brasil.

² UFV – Departamento de Biologia Geral.

³ Embrapa Pecuária Sudeste, Rodovia Washington Luiz, Km 234, CEP 13560- 970 São Carlos, São Paulo, Brasil.

*Autor para correspondência (lais.barroso@yahoo.com.br).

Recibido: 18/10/2013; Aceptado: 18/11/2013.

RESUMO

Este trabalho teve por objetivo propor uma nova metodologia, baseada no coeficiente de correlação de Spearman para o estudo da adaptabilidade e estabilidade fenotípica de genótipos de alfafa. Além disso, os resultados foram comparados com os obtidos pela metodologia baseada no teste dos sinais. Para tanto, foram utilizados dados provenientes de um experimento em blocos casualizados com 2 repetições, que constituiu-se da avaliação da produção de matéria seca de 92 cultivares de alfafa em 20 cortes, realizados no período de novembro de 2004 a junho de 2006 no Campo Experimental da Embrapa Pecuária Sudeste - São Carlos/SP. Os resultados encontrados mostram que o coeficiente de correlação de Spearman é eficiente para o estudo de adaptabilidade e estabilidade fenotípica, sendo possível classificar os cultivares conforme o interesse do estudo. Ademais, quando comparado com a metodologia baseado no teste dos sinais, o mesmo se mostra mais eficiente na discriminação de genótipos.

Palavras-chave: *Medicago sativa*, interação genótipo x ambiente, melhoramento de plantas.

ABSTRACT

The objective of this work was to propose a new methodology based on Spearman correlation coefficient for the study of adaptability and stability of alfalfa genotypes. The results were compared with those obtained by the methodology based on the test signals. The alfalfa (*Medicago sativa* L.) forage yield of 92 genotypes was used. The trial had a randomized block design, with two replicates, and the data were used to test the method. The genotypes underwent 20 cuts, from November 2004 to June 2006 in the experimental field of Embrapa Pecuária Sudeste - São Carlos/SP. Each cut was considered an environment. The Spearman correlation coefficient is efficient to study of adaptability and stability. Moreover, when compared with the methodology based on the signals test, the Spearman correlation coefficient it is more efficient in the discrimination of genotypes.

Key words: *Medicago sativa*, genotype-environment interaction, plant breeding.

INTRODUÇÃO

O valor fenotípico de um indivíduo, quando avaliado em um ambiente é o resultado da ação do efeito genotípico sob a influência do meio ao qual é submetido. Entretanto, quando esse mesmo indivíduo é avaliado em vários ambientes, é observado o surgimento de um componente adicional que inflaciona o seu valor fenotípico. Este componente é denominado interação genótipo x ambiente – GxA (Cruz e Carneiro 2006).

A interação GxA constitui um grande problema para programas de melhoramento, visto que, em sua presença os genótipos não possuem o mesmo comportamento no conjunto de ambientes avaliados. Visando contornar esse problema, são realizadas as análises de adaptabilidade e estabilidade, pelas quais se torna possível a identificação e recomendação de genótipos de interesse para diversos estudos (Cruz et al. 2004).

Na literatura podem ser encontradas diversas metodologias de adaptabilidade e estabilidade. Como exemplos, considerado apenas as metodologias mais recentes, pode-se citar as metodologias Cruz et al. (1989) e Nascimento et al. (2011) - baseados em análises de regressão linear. Os métodos não paramétricos de Lin e Binns (1988), Nascimento et al. (2008), Nascimento et al. (2009) e Nascimento et al. (2010). Estes últimos possuem algumas vantagens em relação aos paramétricos. Dentre estas vantagens, podem-se citar: a facilidade na interpretação e no uso das medidas estimadas; a não necessidade de assumir qualquer hipótese sobre a distribuição dos valores fenotípicos; o desempenho e o comportamento dos genótipos podem ser expressos por uma ou poucas medidas, o que também facilitaria sua interpretação.

Em Nascimento et al. (2008), foi apresentado o estudo de adaptabilidade e estabilidade através da metodologia não paramétrica do teste dos sinais para tendência proposto por Cox e Stuart (1955). Essa metodologia mostrou-se eficiente uma vez que conseguiu discriminar o conjunto dos cultivares estudado em subconjuntos de interesse em estudos de interação genótipos x ambientes. Entretanto, segundo Morettin e Toloi (2004), o teste baseado no coeficiente de correlação por postos de Spearman é, em geral, mais poderoso que o teste dos sinais quando objetiva-se verificar a existência de tendências em um conjunto de dados.

De acordo com o exposto, teve-se como objetivo propor uma nova metodologia para analisar o estudo da adaptabilidade e estabilidade fenotípica em espécies vegetais por meio do teste baseado no coeficiente de correlação de Spearman. Além disso, buscou-se comparar os resultados com os obtidos pela metodologia

baseada no teste dos sinais para tendência descrita por Nascimento et al. (2008).

MATERIAL E MÉTODOS

Para a avaliação e comparação desta metodologia, foram utilizados dados provenientes de um experimento de avaliação da produção de matéria seca de 92 genótipos de alfafa em 20 cortes. O delineamento utilizado nesse experimento foi o de blocos ao acaso com duas repetições. O experimento foi conduzido pela Embrapa Pecuária Sudeste, para desenvolvimento de genótipos de alfafa adaptados aos diferentes ecossistemas brasileiros. No presente trabalho, consideraram-se os cortes como representativos de diferentes condições ambientais, já que foram realizados mensalmente em diferentes épocas durante o período de novembro de 2004 a junho de 2006, sendo o primeiro corte realizado em novembro de 2004. Um ponto a ser ressaltado é que os cortes foram realizados no mesmo cultivar de alfafa considerando as diferentes condições meteorológicas e horários de corte.

De acordo com Siegel (1975) o coeficiente de correlação por postos de Spearman, designado ρ e representado por r_s , é uma medida não paramétrica que permite estabelecer a existência de correlação entre duas variáveis. Para o cálculo de r_s considera-se um conjunto de n pares de observações. Em correspondência a cada par, consta-se seu posto em relação uma determinada variável, I_j , o índice ambiental e seu posto em relação à outra variável, neste caso, Y_{ij} , que em geral é representada pela produção do i -ésimo genótipo no j -ésimo ambiente. Em seguida, determinam-se os valores da diferença, denotada por d_i , entre os pares de postos.

Eleva-se cada valor de d_i ao quadrado e soma-se, obtendo-se assim a soma de quadrados da diferença entre os pares de postos, $\sum_{i=1}^n d_i^2$. O coeficiente de

correlação de Spearman é então obtido por meio da

seguinte expressão:
$$r_s = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n d_i^2}{n(n^2 - 1)}$$

De acordo com Morettin e Toloi (2004), o teste baseado neste coeficiente é, em geral, mais poderoso que o teste dos sinais para tendência proposto por Cox e Stuart (1955) quando objetiva-se verificar a existência de tendências em um conjunto de dados. Naturalmente surge o interesse da utilização deste teste como uma alternativa

mais robusta que o método proposto por Nascimento et al. (2008) o qual se baseia no teste dos sinais.

Para a utilização destes testes de adaptabilidade e estabilidade fenotípica é necessário que os ambientes (cortes) sejam classificados e ordenados utilizando o índice ambiental (I_j) proposto por Finlay e Wilkinson

(1963), $I_j = \frac{1}{g} \sum_{i=1}^n Y_{ij} - \frac{1}{ag} Y_{..}$, em que: Y_{ij} : média do

genótipo i no ambiente j ; $Y_{..}$: total das observações; a : número de ambientes; g : número de genótipos.

Da mesma forma que no estudo de Nascimento et al. (2008), a hipótese a ser testada, pode ser descrita como:

H_{0i} : “o genótipo i é estável às variações ambientais”, em que $i = 1, 2, \dots, g$. Estatisticamente esta hipótese é representada por $H_{0i}: \rho_s = 0$. Já a hipótese alternativa deve ser sempre unilateral, uma vez que a mesma deve ser definida de acordo com o valor de r_s .

Após a definição das hipóteses e do cálculo do coeficiente de correlação de Spearman, deve-se verificar se o valor calculado de r_s é significativamente diferente de zero, ou seja, se realmente existe associação “tendência” entre as variáveis I_j e Y_{ij} . A decisão do teste e/ou p-valores para cada genótipo em estudo, conjuntamente com suas respectivas médias, são utilizados como “medidas” de adaptabilidade e estabilidade.

A aplicação do teste está condicionada ao tamanho da amostra (n), ou seja, número de ambientes em estudo. Duas situações podem ser descritas: i. Pequenas amostras ($n < 10$): Situações em que o número de ambientes avaliados é inferior a 10 a hipótese, $H_{0i}: \rho_s = 0$, é avaliada de acordo com os valores críticos de r_s apresentados na **Tabela 1**.

ii. Grandes amostras ($n \geq 10$): Situações em que o número de ambientes avaliados é igual ou superior a 10 a hipótese, $H_{0i}: \rho_s = 0$, é avaliada pela estatística t ,

dada por: $t = r_s \sqrt{\frac{n-2}{1-r_s^2}}$, em que t está associado a $n-2$

graus de liberdade e em um nível de significância α .

Os valores p associados à estatística de teste podem ser obtidos, para as duas situações descritas, a partir da função *cor.test* do pacote *stats* do software R (R Development Core Team 2010).

Tabela 1. Valores Críticos de r_s , Coeficiente de Correlação de Spearman*.

N	Nível de significância (unilateral)	
	0,05	0,01
4	1,000	
5	0,900	1,000
6	0,829	0,943
7	0,714	0,893
8	0,643	0,833
9	0,600	0,783
10	0,584	0,746
12	0,506	0,712
14	0,456	0,645
16	0,425	0,601
18	0,399	0,564
20	0,377	0,534
22	0,359	0,508
24	0,343	0,485
26	0,329	0,465
28	0,317	0,448
30	0,306	0,432

* Reproduzido de Siegel (1975) Estatística não-paramétrica: para as ciências do comportamento. Editora McGraw-Hill, São Paulo, p. 315.

Quando se dispõe de um grande número de ambientes o teste baseado no coeficiente de correlação de Spearman pode ser aplicado separadamente para cada conjunto de ambientes, em que os ambientes são classificados de acordo com o índice ambiental proposto por Finlay e Wilkinson (1963). Desta forma, é possível fazer uma classificação mais ampla quanto à adaptabilidade e estabilidade dos genótipos em estudo.

Com respeito às definições de adaptabilidade e estabilidade, do mesmo modo que na metodologia de Finlay e Wilkinson (1963) a adaptabilidade expressa a resposta do cultivar às variações ambientais, enquanto que a estabilidade dá a ideia da invariância. Portanto estes conceitos estão intimamente ligados a decisão do teste e/ou valores p .

Considerando o teste para dois conjuntos de ambientes definidos de acordo com o índice ambiental em favoráveis ($I_j > 0$) e desfavoráveis ($I_j < 0$), podem-se definir as seguintes hipóteses:

- H_{0iF} : “o genótipo i é estável às variações ambientais no conjunto de ambientes denotados como favoráveis”.
- H_{0iD} : “o genótipo i é estável às variações ambientais no conjunto de ambientes denotados como desfavoráveis”.

Este caso trata da situação em que o número de ambientes avaliados é considerado grande ($n \geq 10$) uma vez que é possível a formação de dois conjuntos de ambientes de acordo com o índice ambiental. Os valores

p obtidos para cada genótipo são denotados por p_F e p_D para os ambientes favoráveis e desfavoráveis, respectivamente. Cada um deles em conjunto com suas respectivas médias são utilizados como “medidas” de adaptabilidade e estabilidade, e então se classificam os cultivares da seguinte forma:

- Cultivares ideais, de acordo com Verma et al. (1978) ou de adaptabilidade a ambientes favoráveis e estáveis à ambientes desfavoráveis: média elevada, $p_D > \alpha$ e $p_F \leq \alpha$;
- Cultivares de adaptabilidade geral e baixa estabilidade: média elevada, $p_D \leq \alpha$ e $p_F \leq \alpha$;
- Cultivares de adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis e estáveis à ambientes favoráveis: média elevada, $p_D \leq \alpha$ e $p_F > \alpha$;
- Cultivares de estabilidade alta: média elevada, $p_D > \alpha$ e $p_F > \alpha$.
- Cultivares passíveis de descarte: média baixa, $p_D > \alpha$ e $p_F > \alpha$.

Os termos média elevada e baixa referem-se ao fato de o valor médio do caráter em estudo ser superior ou inferior ao valor médio obtidos de todos os genótipos avaliados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise da variância revelou significância entre os cultivares de alfafa e existência da interação cultivares x cortes (ambientes) em nível de 5 e 1% de probabilidade, respectivamente. A existência da interação indica que os cultivares podem apresentar desempenhos diferenciados nos cortes avaliados (**Tabela 2**).

Ferreira et al. (2004) enfatizam a importância de se encontrarem cultivares de alfafa com ampla adaptabilidade de produção de matéria seca, pois o uso de cultivares que apresentem grande variação durante o ano, obriga o produtor a utilizar maior quantidade de suplementação volumosa de outra fonte, aumentando o custo da produção de leite. Assim, esses autores

recomendam que os cultivares de interesse sejam aqueles que apresentem alta produtividade e adaptabilidade geral, uma vez que as mesmas são exploradas tanto em cortes realizados em condições ambientais favoráveis quanto desfavoráveis.

Tabela 2. Análise da variância para o caráter produção de matéria seca, avaliando 92 cultivares de alfafa no período de período de novembro de 2004 a junho de 2006. São Carlos, SP.

Fontes de variação	GL	Quadrados médios
Blocos	1	2002415,43
Cultivar (Cv)	91	1384475,75*
Erro a	91	574269,72
Corte (Co)	19	62331022,56*
Erro b	19	946917,67
Interação (Cv x Co)	1729	60682,46**
Erro c	1729	55851,26
Média	1176,800	

ns Não significativo. * e ** significativos a 5 e 1 % de probabilidade, respectivamente pelo teste F.

Através da classificação, conforme o índice ambiental proposto por Finlay e Wilkinson (1963), formou-se dois conjuntos de ambientes, favoráveis e desfavoráveis, sendo estes constituídos de nove e onze ambientes, respectivamente. Dessa forma é possível efetuar dois testes estatísticos, um para cada conjunto de ambientes e assim obter informação sobre a *performance* genotípica.

Neste trabalho os cultivares de interesse, de acordo com a especificação de Ferreira et al. (2004), se traduzem em cultivares de média elevada, adaptabilidade geral e baixa estabilidade, isto é, $\bar{X}_i > \bar{X}_G$ $p_F \leq \alpha$ e $p_D \leq \alpha$.

Para exemplificar a execução do teste, foram utilizados os dados de médias da produção de matéria seca do cultivar número 4 (LE N 1). A Tabela 3 apresenta os ambientes favoráveis e desfavoráveis classificados de acordo com o índice ambiental (I_j) e as médias da produção deste cultivar para os respectivos ambientes.

Tabela 3. Ambientes favoráveis e desfavoráveis classificados de acordo com o índice ambiental (I_j) e médias da produção de matéria seca do cultivar número 4 (LE N 1) para os respectivos ambientes.

Medidas da produção de matéria seca do cultivar número 1 (LE N 1) para os respectivos ambientes.											
Ambientes Favoráveis											
(I _j)	A11	A5	A4	A15	A14	A13	A3	A1	A2		
	33	45	90	112	155	204	865	1072	1554		
LE N 1	1403	1194	1365	1337	1371	1339	1984	2469	2770		
Ambientes Desfavoráveis											
(I _j)	A9	A19	A18	A17	A8	A7	A20	A6	A16	A10	A12
	-695	-681	-542	-508	-472	-351	-283	-237	-165	-164	-30
LE N 1	302	725	646	772	498	701	816	904	1061	860	1173

O teste foi aplicado para cada conjunto de ambientes, considerando as seguintes hipóteses:

- H_{04F} : "o cultivar 4 é estável às variações ambientais no conjunto de ambientes denotados como favoráveis".
- H_{04D} : "o cultivar 4 é estável às variações ambientais no conjunto de ambientes denotados como desfavoráveis".

Definida as hipóteses e o nível de significância, neste estudo $\alpha = 5\%$, executa-se o teste:

- Como os ambientes já estão classificados com base no índice ambiental (I_j), os postos dessa variável seguem a ordem de classificação. Calculam-se então, os postos para a variável Y_{4j} (média da produção do cultivar 4 em cada ambiente) tanto para o conjunto dos ambientes favoráveis quanto para o conjunto dos ambientes desfavoráveis. Os resultados são dispostos na Tabela 4.
- Calculam-se os valores de r_s :

- Para o conjunto de ambientes favoráveis (Tabela 4):

$$r_s = 1 - \frac{\sum_{i=1}^9 d_i^2}{n(n^2 - 1)} = 1 - \frac{6 \times 40}{9(9^2 - 1)} = 0,67$$

- Para o conjunto de ambientes desfavoráveis (Tabela 4):

$$r_s = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{11} d_i^2}{n(n^2 - 1)} = 1 - \frac{6 \times 32}{11(11^2 - 1)} = 0,85$$

Vale ressaltar que os dois valores de r_s foram positivos.

Assim, pode-se optar por um teste unilateral o que consequentemente aumenta o poder do teste.

- Realiza-se um teste de significância para cada r_s :

- No conjunto de ambientes favoráveis existem apenas 9 observações (ambientes), então sob hipótese nula, H_{04F} , e recorrendo a Tabela 1 verifica-se que o valor observado $r_s = 0,67$ excede o valor tabelado. Logo r_s é significativo.
- Para o conjunto de ambientes desfavoráveis existem 11 observações (ambientes). Sob hipótese nula, H_{04D} , pode-se utilizar a estatística t para comprovar a significância de r_s :

$$r_s = 0,85 \sqrt{\frac{11-2}{1-(0,85)^2}} = 4,84$$

A tabela t de Student mostra que, para 9 graus de liberdade, um valor de t tão grande quanto 4,84 é significativo em nível de 0,05 de probabilidade.

Conclusões dos testes: Ao nível de significância de 5%, rejeitam-se H_{04F} e H_{04D} , isto é, existem evidências de que o cultivar 4 (LE N 1) não é estável às variações ambientais nos dois conjuntos de ambientes. Combinando-se este resultado à média do cultivar ($\bar{X}_4 = 1.184,56$), pode-se classificá-lo como de adaptabilidade a ambientes favoráveis e estáveis a ambientes desfavoráveis (ideal) uma vez que a média geral do experimento foi de $\bar{X}_G = 1.176,84$. Esses resultados também podem, e na prática devem ser obtidos analisando os valores p fornecidos pelo software R (R Development Core Team 2010). Os valores obtidos foram $p_F = 0,029$ e $p_D = 0,001$, que também indicam que o coeficiente de correlação de Spearman é significativamente diferente de zero em nível de 5% de probabilidade.

Os cálculos para os demais cultivares seguiram a mesma metodologia demonstrada neste exemplo e seus resultados estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 4. Postos referentes ao índice ambiental (I_j) e a média da produção do cultivar 4 (LE N 1) para ambientes favoráveis e desfavoráveis respectivamente.

para ambientes favoráveis e desfavoráveis respectivamente.											
Ambientes Favoráveis											
	A11	A5	A4	A15	A14	A13	A3	A1	A2		
Postos I_j	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Postos LE N 1	6	1	4	2	5	3	7	8	9		
d_i	-5	1	-1	2	0	3	0	0	0		
d_i^2	25	1	1	4	0	9	0	0	0		
Ambientes Desfavoráveis											
	A9	A19	A18	A17	A8	A7	A20	A6	A16	A10	A12
Postos I_j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Postos LE N 1	1	5	3	6	2	4	7	9	10	8	11
d_i	0	-3	0	-2	3	2	0	-1	-1	2	0
d_i^2	0	9	0	4	9	4	0	1	1	4	0
d_i = diferença entre os pares de postos											

d_i = diferença entre os pares de postos

Tabela 5. Médias (kg/ha) e estimativas dos coeficientes de correlação de Spearman e dos valores p obtidos para o caráter produção de matéria seca nos dois tipos de ambientes considerados

Cultivar	Média	Ambientes Desfavoráveis		Ambientes Favoráveis	
		r _s	valor p	r _s	valor p
Winter	1002,85	0,818	0,002*	0,883	0,002*
SPS 6550	1133,70	0,936	0,000*	0,817	0,005*
Primavera	1052,28	0,927	0,000*	0,883	0,002*
LE N 1	1184,56	0,855	0,001*	0,667	0,029*
Trindade 87	1467,20	0,955	0,000*	0,933	0,000*
LE N 2	1352,26	0,891	0,000*	0,933	0,000*
LE Semit 711	1140,25	0,827	0,001*	0,933	0,000*
Topper	1144,19	0,755	0,005*	0,833	0,004*
LE N 3	1394,53	0,764	0,004*	0,800	0,007*
Sequel HR	1306,67	0,945	0,000*	0,883	0,002*
LE N 4	1382,65	0,718	0,008*	0,883	0,002*
Victoria INTA	1213,57	0,945	0,000*	0,933	0,000*
Monarca INTA	1189,03	0,855	0,001*	0,933	0,000*
Bárbara INTA	1315,94	0,955	0,000*	0,833	0,004*
Primavera 1	1196,40	0,927	0,000*	0,933	0,000*
Aca 900	1273,35	0,927	0,000*	0,883	0,002*
5 939	1574,60	0,655	0,016*	0,467	0,106 ^{ns}
WL 612	1399,08	0,927	0,000*	0,817	0,005*
Medina	1251,65	0,891	0,000*	0,867	0,002*
N 910	1183,79	0,845	0,001*	0,800	0,007*
Coronado	793,91	0,882	0,000*	0,967	0,000*
Eterna	835,14	0,891	0,000*	0,800	0,007*
DK 193	915,61	0,827	0,001*	0,767	0,011*
Candombe	651,02	0,745	0,006*	0,833	0,004*
WL 414	830,55	0,736	0,006*	0,783	0,009*
Crioula	1033,33	0,927	0,000*	0,900	0,001*
LE Semit 711 1	991,08	0,955	0,000*	0,933	0,000*
DK 181	1053,43	0,927	0,000*	0,983	0,000*
5 929	1264,67	0,955	0,000*	0,900	0,001*
Activa	1257,95	0,955	0,000*	0,950	0,000*
Sequel 2	1411,09	0,909	0,000*	0,867	0,002*
Califónia 60	1525,05	0,836	0,001*	0,483	0,097 ^{ns}
Cuf 101	1437,20	0,955	0,000*	0,517	0,081 ^{ns}
58 N 58	1263,82	0,936	0,000*	0,617	0,043*
Diamind	1277,02	0,955	0,000*	0,617	0,043*
Aurora	1336,74	0,982	0,000*	0,733	0,016*
Sundor	1428,93	0,955	0,000*	0,733	0,016*
Springfield	1383,94	0,909	0,000*	0,750	0,013*
Sutter	1211,48	0,700	0,010*	0,950	0,000*
Hunterfield	1189,43	0,664	0,015*	1,000	0,000*
P 105	1622,76	0,973	0,000*	0,767	0,011*
Prointa Patricia	1184,07	0,909	0,000*	0,867	0,002*
Flórida 77	1288,05	0,745	0,006*	0,967	0,000*
Siriver 2	1185,93	0,982	0,000*	0,900	0,001*
WL 516	1334,34	0,627	0,021*	0,950	0,000*

... cont. Tabela 5.

Cultivar	Média	Ambientes Desfavoráveis		Ambientes Favoráveis	
		r _s	valor p	r _s	valor p
Tahoe	1041,09	0,918	0,000*	0,900	0,001*
Esmeralda	1081,97	0,973	0,000*	0,817	0,005*
DK 167	1122,71	0,936	0,000*	0,967	0,000*
DK 177	1274,64	0,827	0,001*	0,933	0,000*
5 683	1205,99	0,873	0,000*	0,933	0,000*
WL 414 1	1010,34	0,927	0,000*	0,900	0,001*
Express	1267,47	0,909	0,000*	0,900	0,001*
F 708	1108,73	0,945	0,000*	0,900	0,001*
Perla INTA	1129,40	0,945	0,000*	0,933	0,000*
Prointa Lujan	1088,19	0,927	0,000*	0,967	0,000*
DK 166	1150,30	0,782	0,003*	0,567	0,060 ^{ns}
Platino	1179,55	0,964	0,000*	0,850	0,003*
Maxidor	1274,52	0,882	0,000*	0,917	0,001*
Amerigraze701	1355,01	0,864	0,001*	0,883	0,002*
13 R Supreme	1270,49	0,900	0,000*	0,733	0,016*
Pecos	1322,88	0,936	0,000*	0,733	0,016*
Califónia 50	1211,35	0,973	0,000*	0,833	0,004*
Maricopa	1459,60	0,845	0,001*	0,850	0,003*
Kern	1120,37	0,873	0,000*	0,767	0,011*
Costera INTA	1357,18	0,927	0,000*	0,667	0,029*
F 686	1271,35	0,555	0,039*	0,833	0,004*
Monarca	1034,20	0,827	0,001*	0,800	0,007*
Patrícia	971,81	0,918	0,000*	0,917	0,001*
Tango	804,51	0,891	0,000*	0,917	0,001*
Bárbara	872,00	0,709	0,009*	0,717	0,018*
Rio Grande	1116,73	0,773	0,004*	0,667	0,029*
Key II	904,77	0,818	0,002*	0,733	0,016*
Gala	1041,23	0,818	0,002*	0,883	0,002*
Lujan	1131,27	0,955	0,000*	0,617	0,043*
Perla	1252,13	0,891	0,000*	0,833	0,004*
5683 L	1404,40	0,936	0,000*	0,850	0,003*
Victoria	1283,16	0,836	0,001*	0,583	0,054 ^{ns}
DK 194	1300,29	0,891	0,000*	0,700	0,022*
WL 442	1194,41	0,936	0,000*	0,950	0,000*
P 30	1259,66	0,927	0,000*	0,950	0,000*
P 5715	1141,71	0,982	0,000*	0,833	0,004*
Alfa 200	1165,58	0,927	0,000*	0,967	0,000*
Aca 901	1200,67	0,936	0,000*	0,850	0,003*
Gapp 969	1093,06	0,955	0,000*	0,733	0,016*
Rocio	974,53	0,891	0,000*	0,883	0,002*
GT 13 R Plus	1143,14	0,964	0,000*	0,883	0,002*
WL 525	1013,74	0,973	0,000*	0,933	0,000*
Sequel	1056,44	0,882	0,000*	0,933	0,000*
DK 187 R	934,30	0,645	0,018*	0,733	0,016*
Pinto	1148,74	0,855	0,001*	0,883	0,002*
Bacana	939,33	0,755	0,005*	0,800	0,007*
Siriver	718,90	0,736	0,006*	0,833	0,004*

ns Não significativo. * Significativo a 5% de probabilidade r_s = coeficiente de correlação de Spearman.

Com base nos resultados apresentados na **Tabela 5** observa-se que, dentre os 92 cultivares avaliados, 47 apresentaram o comportamento considerado desejável. São elas: LE N 1, Trindade 87, LE N 2, LE N 3, Sequel HR, LE N 4, Victoria INTA, Monarca INTA, Bárbara INTA, Primavera 1, Aca 900, WL 612, Medina, N 910, 5 929, Activa, Sequel 2, 58 N 58, Diamind, Aurora, Sundor, Springfield, Sutter, Hunterfield, P 105, Prointa Patrícia, Flórida 77, Siriver 2, WL 516, DK 177, 5 683, Express, Platino, Maxidor, Amerigraze701, 13 R Supreme, Pecos, Califórnia 50, Maricopa, Costera INTA, F 686, Perla, 5683 L, DK 194, WL 442, P 30, Aca 901. Todos esses cultivares são classificadas como de adaptabilidade geral e baixa estabilidade, visto que os testes realizados foram significativamente diferentes de zero e, além disso, os mesmos possuem médias superiores a média geral do experimento.

O teste baseado no coeficiente de correlação de Spearman, realizado a um nível de 5% de significância, detectou 8 cultivares a mais para o grupo de cultivares desejáveis, quando comparado com o teste dos sinais realizado a 15% de significância por Nascimento et al. (2008). Esse resultado comprovou que o teste proposto neste trabalho tem um maior poder de discriminação de genótipos.

Por outro lado, os cultivares Califórnia 60, Cuf 101 e Victoria, em comparação com o estudo de Nascimento et al. (2008), continuaram sendo classificadas como adaptabilidade geral desfavorável e estabilidade baixa. Esses cultivares apresentaram um comportamento em que é verificada a existência de uma tendência positiva (responsivos) quando avaliadas em ambientes desfavoráveis e uma resposta uniforme nos favoráveis. Já o cultivar 5939 também passou a pertencer a esse grupo, pois observou-se que o mesmo responsivo a ambientes desfavoráveis (**Tabela 5**). Os demais cultivares possuem média inferior a média geral e são passíveis de descarte.

CONCLUSÕES

Diante dos resultados apresentados, verifica-se que o método baseado no coeficiente de correlação de Spearman mostrou-se eficiente no estudo de adaptabilidade e estabilidade fenotípica em cultivares de alfafa.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Embrapa Pecuária Sudeste pela concessão dos dados, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq-Brasil) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro deste estudo (bolsa de pós-graduação).

REFERÊNCIAS

- Cox, DR.; Stuart, A. 1955. Some quick tests for trend in location and dispersion. *Biometrika*, 42: 80-95.
- Cruz, CD; Carneiro, PCS. 2006. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. 2ª. ed. Viçosa: UFV, v.II. 585p.
- Cruz, CD; Regazzi, AJ; Carneiro, PCS. 2004. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. 3ª ed. Viçosa: UFV. v.I, 480p.
- Cruz, CD; Torres, RA; Vencovsky, R. 1989. An alternative approach to the stability analysis proposed by Silva and Barreto. *Revista Brasileira de Genética*, 12: 567-580.
- Ferreira, RP; Botrel, MA; Ruggieri, AC; Pereira, AV; Coelho, ADF; Léo, FJS; Cruz, CD. 2004. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de alfafa em relação a diferentes épocas de corte. *Ciência Rural*, 34: 265-269.
- Finlay, KW; Wilkinson, GN. 1963. The analysis of adaptation in a plant-breeding programme. *Australian Journal of Agricultural Research*, 14: 742-754.
- Lin, CS; Binns, MR. 1988. A superiority measure of cultivar performance for cultivar x location data. *Can J Plant Sci.*, 68: 193-198.
- Morettin, PA; Tolo, CM. 2004. *Análise de Séries Temporais*. 3ª ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher. v.I, 535p.
- Nascimento, M; Cruz, CD; Peternelli, LA; Campana, ACM; Pinto, DS; Ferreira, RP. 2008. Teste dos sinais para tendência: uma aplicação em melhoramento de plantas. *Revista Brasileira de Biometria*, 26: 19-30.
- Nascimento, M; Ferreira, A; Campana, ACM; Salgado, CC; Cruz, CD. 2009. Multiple centroid methodology to analyze genotype adaptability. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*. 9: 8-16.
- Nascimento, M; Finoto, EL; Sediya, T; Cruz, CD. 2010. Adaptability and stability of soybean in terms of oil and protein content. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 10: 48-54.
- Nascimento, M; Silva, FF e; Sáfi, T; Nascimento, ACC; Ferreira, RP; Cruz, CD. 2011. Abordagem bayesiana para avaliação da adaptabilidade e estabilidade de genótipos de alfafa. *Pesquisa agropecuária brasileira*, 46: p.26-32.
- R Development Core Team. 2010. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for

Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, Disponível em: <http://www.r-project.org/>

Verma, MM; Chahal, GS; Murty, BR. 1978. Limitations of conventional regression analysis: a proposed modification. Theor. Appl. Genet., 53: 89-91.

Siegel, S. 1975. Estatística não-paramétrica: para as ciências do comportamento. São Paulo: McGraw-Hill, 350p.